

КРИТЕРИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ БИОГАЗОВОЙ УСТАНОВКИ В ИНДИВИДУАЛЬНОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Магістрант Е.А. Ткаченко, канд. техн. наук С.В. Угольников

КРИТЕРІЇ ПРОЕКТУВАННЯ ТА СПОРУДЖЕННЯ БІОГАЗОВОЇ УСТАНОВКИ В ІНДИВІДУАЛЬНОМУ ГОСПОДАРСТВІ

Магістрант Є.О. Ткаченко, канд. техн. наук С.В. Угольніков

CRITERIA FOR DESIGN AND CONSTRUCTION BIOGAS PLANT IN INDIVIDUAL FARMS

Master student E. Tkachenko, cand. of techn. sciences S. Ugolnikov

Биогаз – один з перспективних напрямків генерації та використання відновлюваних енергоресурсів. У зв'язку з великими варіаціями в кількості і якості сировини, умов функціонування та цілей створення проектування біогазових установок не формалізоване і ґрунтується на практичному досвіді розробників. Розглянуто критерії, які надають визначальний вплив на структуру і комплектацію БГУ для фермерських господарств. Раціонально спроектована БГУ підвищує енергоефективність і екологічність сільськогосподарського виробництва.

Ключові слова: біогаз, біогазова установка, відходи тваринництва, біодобриво, проектування БГУ, фермерське господарство.

Биогаз – одно из перспективных направлений генерации и использования возобновляемых энергоресурсов. В связи с большими вариациями в количестве и качестве сырья, условий функционирования и целей создания проектирование биогазовых установок не формализовано и основывается на практическом опыте разработчиков. Рассмотрены критерии, оказывающие определяющее влияние на структуру и комплектацию БГУ для фермерских хозяйств. Рационально спроектированная БГУ повышает энергоэффективность и экологичность сельскохозяйственного производства.

Ключевые слова: биогаз, биогазовая установка, отходы животноводства, биоудобрение, проектирование БГУ, фермерское хозяйство.

Biogas – one of the promising areas of generation and use of renewable energy resources. In many countries, farmers are considered as promising sites for the production and use of biogas. Due to the large variations in the quantity and quality of raw materials, modalities and goals of the design of biogas plants are not formalized and is based on practical experience of the developers. It is shown that the critical parameters in the design of biogas digesters are a source of raw materials, the amount of energy consumed by household and accommodation. Considered criteria (power, size, equipment, modes of operation, safety, etc.), which have a decisive influence on the structure and functional composition of BSU for farms. Variants of technological schemes of individual bioreactors, as well as the characteristics of farms that should be considered when designing the BSU. Rationally designed BSU improves energy efficiency and environmentally friendly agricultural production.

Keywords: biogas, biogas plant, animal waste, bio-fertilizer, design BSU, farm.

Введение. Биогаз — газ, получаемый водородным или метановым брожением биомассы [1, 6]. Состав и качество биогаза: 50—87 % метана, 13—50 % CO₂, незначительные примеси H₂ и H₂S. После очистки биогаза от CO₂ получается биометан.

Биометан — полный аналог природного газа, отличие только в происхождении. В мире существует большое разнообразие промышленных и кустарных установок для производства биогаза. Биогаз используют в качестве топлива для производства:

электроэнергии, тепла или пара, или в качестве автомобильного топлива. В сельскохозяйственном производстве, где имеется большое количество разнообразного органического сырья для генерации биогаза, его производство и применение особенно перспективно [5, 9]. Во многих случаях биогаз позволяет решить все вопросы, связанные с энергоснабжением индивидуальных фермерских хозяйств. Разработка и построение эффективных биогазовых установок (БГУ) является актуальной задачей с точки зрения использования возобновляемых энергоресурсов.

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными и практическими задачами. Анализ проектов индивидуальных биогазовых установок для фермерских хозяйств. Формирование набора критериев, оказывающих определяющее влияние на структуру и комплектацию БГУ и учитывающих вариации в количестве и качестве сырья, условиях функционирования с целью практического применения при разработке и построении индивидуальных систем БГУ [2, 6].

Анализ последних исследований и публикаций. Первая задокументированная биогазовая установка была построена в Бомбее (Индия) в 1859 году. В 1930 году, с развитием микробиологии, были обнаружены бактерии, участвующие в процессе производства биогаза [7].

Перечень органических отходов, пригодных для производства биогаза, широк и чрезвычайно разнообразен, состав органического сырья отличается индивидуальностью для различных хозяйств: навоз, птичий помёт, зерновая и мелассная послеспиртовая барда, пивная дробина, свекольный жом, фекальные осадки, отходы рыбного и забойного цеха, трава, бытовые отходы, отходы молокозаводов, отходы от производства биодизеля, отходы от производства соков, виноградная выжимка, водоросли, отходы переработки картофеля, производства чипсов и многое другое. Кроме отходов биогаз можно производить из специально выращенных энергетических культур [4, 10].

Выход биогаза зависит от содержания сухого вещества и вида используемого сырья. Из тонны навоза крупного рогатого скота получается 50—65 м³ биогаза с содержанием

метана 60 %. Максимальное количество биогаза — это 1300 м³ с содержанием метана до 87 % — можно получить из жира. Сегодня применение энзимов, бустеров для искусственной деградации сырья и других приспособлений позволяет увеличивать выход биогаза на самой обычной установке с 60 до 95 % [8]. На практике из 1 кг сухого вещества получают от 300 до 500 л биогаза.

Производство биогаза позволяет предотвратить выбросы метана в атмосферу. Метан оказывает влияние на парниковый эффект в 21 раз более сильное, чем СО₂, и находится в атмосфере 12 лет. Захват метана — лучший краткосрочный способ предотвращения глобального потепления.

Переработанные органические отходы применяются в качестве удобрения в сельском хозяйстве. Это позволяет снизить применение химических удобрений, сокращается нагрузка на грунтовые воды.

При всех, казалось бы очевидных, положительных сторонах, производство биогаза имеет ряд недостатков [3].

1. Получаемый продукт (биогаз) содержит в себе соединения серы. Требуется дополнительная очистка от таких соединений.

2. Исходное сырьё в процессе анаэробного сбраживания выделяет большие количества азотных соединений. Данные соединения также создают парниковый эффект.

3. Требования к технологическому процессу: процесс происходит при температуре ~50 °С, саморазогрева не происходит и требуется подогрев внешними источниками тепла.

Биогаз используют в качестве топлива для производства: электроэнергии, тепла или пара, или в качестве автомобильного топлива. Биогазовые установки могут устанавливаться как очистные сооружения на фермах, птицефабриках, спиртовых заводах, сахарных заводах, мясокомбинатах. Весьма перспективно использование БГУ в фермерских хозяйствах.

Определение цели и задачи исследования. На основе анализа проектов индивидуальных биогазовых установок для фермерских хозяйств формирование набора критериев, оказывающих определяющее влияние на структуру и комплектацию БГУ и учитывающих вариации в количестве и качестве сырья, условиях функционирования с целью практического применения при

разработке и построении индивидуальных систем БГУ.

Основная часть исследования. Одним из наиболее интересных приспособлений для переработки органического сырья, в том числе и отходов, является биогазовая установка (БГУ), или биореактор [2, 3].

Данное устройство при помощи анаэробного брожения перерабатывает органические вещества, производя из них метан, углекислый газ (смесь метана и углекислого газа в соотношении 60-40 %), воду и смесь различных минеральных веществ. Данный процесс происходит естественным образом в природе. БГУ лишь создаёт для его протекания оптимальные условия и повышает его скорость и эффективность.

Переброженная масса, остающаяся после переработки, является практически идеальным удобрением. Она содержит все необходимые компоненты удобрений (азот, фосфат, калий, макро- и микроэлементы) в растворенном виде в соотношениях нужных для растений, а также активные биологические стимуляторы, повышающие выход урожая в два и более раза.

Индивидуальные БГУ могут иметь самую разнообразную конструкцию, начиная от простейших – без перемешивания и без подогрева сырья в реакторе – и до комплексно

механизированных и автоматизированных. Термины «простейшие» и «индивидуальные» не означают примитивность и неэффективность БГУ, они лишь характеризуют целевую ориентацию при проектировании. Использование рассматриваемых ниже критериев позволяет построить эффективную энергоустановку с учетом всего комплекса индивидуальных особенностей конкретного хозяйства. Для сравнения рассмотрим два практически предельных варианта комплектации БГУ [1, 6].

Биогазовая установка с ручной загрузкой без перемешивания и без подогрева сырья в реакторе. Простейшая БГУ (рис. 1) предназначена для небольших фермерских хозяйств. Объем реактора от 1 до 10 м³ рассчитан на переработку 50 — 200 кг навоза в сутки (до 10 голов КРС). Содержит минимум составных частей для обеспечения процесса переработки навоза и получения биоудобрений и биогаза. БГУ может быть использована в южных районах без подогрева и перемешивания и предназначена для работы в психрофильном температурном режиме от 5 до 20 °С. Вырабатываемый биогаз сразу направляется на использование. Такую БГУ может построить своими силами любой фермер.

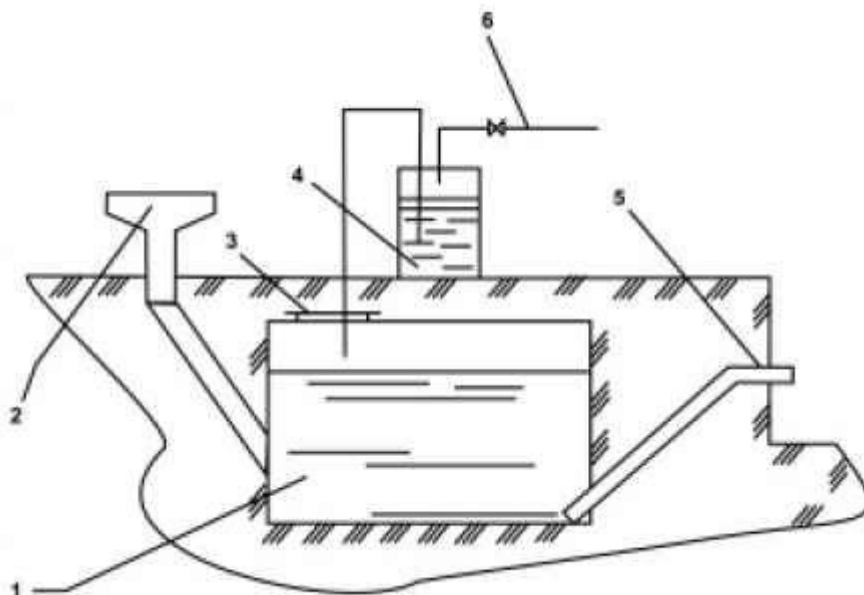


Рис. 1. Схема простейшей БГУ с ручной загрузкой без перемешивания и без подогрева сырья в реакторе: 1 – реактор; 2 – бункер загрузки; 3 – люк для доступа в реактор; 4 – водяной затвор; 5 – выгрузочная труба; 6 – отвод биогаза

Биогазовая установка с газгольдером, механической подготовкой, пневматической загрузкой и перемешиванием сырья, с подогревом сырья в реакторе. Установка (рис. 2) предназначена для средних и крупных фермерских хозяйств с возможностью переработки от 0,5 до 2,0 т сырья в сутки (до 100 голов КРС). Объемы реакторов — от 5 до 30 м³. Отличительной особенностью этой установки является наличие специальной

емкости для подготовки сырья, откуда оно подается при помощи компрессора в бункер загрузки, а затем с помощью сжатого биогаза — в реактор установки. Для работы системы обогрева используется часть вырабатываемого биогаза. Установка снабжена автоматическим отбором биогаза и газгольдером для его хранения. Наличие системы обогрева позволяет эксплуатировать биогазовую установку во всех температурных режимах сбраживания.

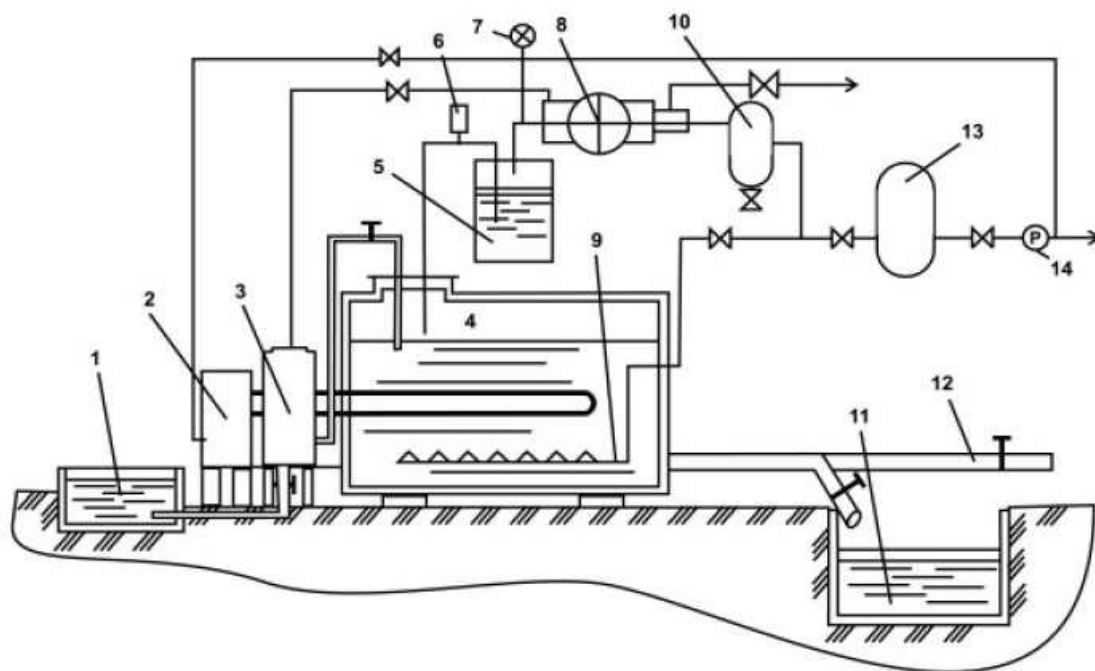


Рис. 2. Биогазовая установка средних и крупных крестьянских хозяйств: 1 – приемник навоза; 2 – водонагревательный котел; 3 – бункер загрузки; 4 – реактор; 5 – водяной затвор; 6 – предохранительный клапан; 7 – манометр электроконтактный; 8 – компрессор; 9 – мешалка газовая; 10 – ресивер; 11 – хранилище для биоудобрений; 12 – газгольдер; 13 – редуктор газовый; 14 – выход газа

До начала строительства БГУ нужно учитывать условия, необходимые для ее эффективной работы. Тщательное и всестороннее планирование очень важно для исключения ошибок до того, как они станут причиной непоправимых поломок. Планирование должно начинаться с определения потенциала производства биогаза и биоудобрения на основании имеющегося количества сырья, а также необходимого хозяйству количества энергии.

Если биогазовая установка предназначена в первую очередь как источник энергии, строительство рекомендовано только в том случае, когда

расчеты потенциального производства биогаза достаточны для удовлетворения потребности хозяйства в энергии.

Выбор размера реактора. Размер реактора зависит от количества, качества и типа сырья, а также от выбранной температуры и времени сбраживания. Есть несколько способов определения необходимого объема реактора [2, 9].

1. По суточной дозе загрузки сырья размер реактора определяется исходя из времени сбраживания и выбранного температурного режима. Для мезофильного режима время оборота реактора составляет от 10 до 20 сут, а суточная доза загрузки — от

1/20 до 1/10 от общего объема сырья в реакторе.

Сначала исходя из количества животных определяется суточное количество навоза для переработки в БГУ. Затем учитывается добавка воды для достижения 86 — 92 % влажности.

Для переработки сырья при мезофильном режиме рекомендуется использовать дозу

суточной загрузки, равную 10 % от объема общего загруженного в установку сырья. Общий объем сырья в установке не должен превышать 2/3 объема реактора.

Расчет суточного выхода биогаза подсчитывается в зависимости от типа сырья и суточной порции загрузки с учетом выхода биогаза для разных типов сырья (таблица) [10].

Таблица

Расчет выхода биогаза для разных типов сырья

Тип сырья	Выход газа, м ³ на 1 кг сухого вещества	Выход газа, м ³ на 1 т при влажности 85 %
Навоз КРС	0,250 – 0,340	38 – 51,5
Свиной навоз	,0340 – 0,580	51,5 – 88
Птичий помет	0,310 – 0,620	47 – 94
Конский навоз	0,200 – 0,300	30,3 – 45,5
Овечий навоз	0,300 – 0,620	45,5 – 94

2. По балансу между потребностью в энергии и выходом биогаза. Необходимость в энергии для каждого хозяйства определяется исходя из суммы всех настоящих и будущих потребностей, таких как, приготовление пищи, освещение, производство энергии и др. Необходимо также учитывать потребление биогаза на подогрев сырья в реакторе. Количество биогаза, необходимое хозяйству, можно определить по количеству энергии, потребляемой ранее. Например, сжигание 1 кг дров аналогично сжиганию 0,65 м³ биогаза, а 1 кг угля — 1,1 м³ биогаза, для приготовления одной порции пищи для одного человека требуется 0,15-0,3 м³ биогаза, для кипячения 1 л воды необходимо 0,03 — 0,05 м³ биогаза, для отопления 1 м² жилой площади – около 0,2 м³ биогаза в сутки.

Выбор места расположения установки.

Золотое правило расположения БГУ гласит, что установка принадлежит ферме, а не кухне. Лучше, если емкость для смешивания сырья напрямую соединяется с полом фермы. Даже если придется проложить несколько метров газовых труб, это дешевле, чем транспортировка сырья. Уровень пола фермы должен располагаться выше уровня емкости для подготовки сырья, тогда навоз и урина животных будут попадать в эту емкость под действием сил гравитации.

Выбор конструкции биогазовой установки. В настоящее время разработано множество конструкций биогазовых установок, подходящих для работы в различных климатических условиях [2, 5]. Выбор конструкции биогазовой установки – важнейший этап процесса планирования.

Критерии для выбора конструкции. Место определяет в основном подземный или надземный реактор будет строиться, а также вертикальный или горизонтальный. Для уменьшения затрат необходимо учитывать наличие уже существующих сооружений и готовых частей установки. Наличие сырья определяет размер и форму емкости для смешивания сырья и объем реактора, подогревающие и перемешивающие устройства. В местностях со сравнительно холодным климатом изоляция и подогрев реактора важны для круглогодичной работы установки. Выбор конструкции установки также зависит от наличия строительных материалов.

Реактор. Главный критерий при выборе конструкции реактора — это возможность реализовать ее на практике и удобство обслуживания и эксплуатации. Вне зависимости от выбора конструкции реактор должен отвечать следующим требованиям: водо- и газонепроницаемость, теплоизоляция, прочность конструкции.

С точки зрения динамики жидкостей оптимальна яйцеобразная форма реактора. Второй наилучшей формой является цилиндр с коническим или полукруглым дном и верхом. Квадратные реакторы из бетона или кирпича не рекомендуются к использованию.

Реакторы могут сооружаться из следующих материалов.

Стальные обладают преимуществом герметичности, могут выдерживать большое давление и сравнительно легки в изготовлении. Большой проблемой является чувствительность к ржавчине. Экономически такие емкости выгодны только в случае использования уже готовых емкостей.

Пластиковые емкости бывают мягкие и твердые. Мягкие емкости легко повредить и сложно утеплить. Твердые емкости отличаются стабильностью конструкции и не подвержены коррозии, поэтому рекомендуются к использованию для психофильной переработки органических отходов.

Бетонные емкости приобрели большую популярность в последние годы. Необходимая газонепроницаемость требует качественного строительства и специальных покрытий. Большими плюсами являются недорогое строительство и практически неограниченный срок эксплуатации.

Кладка — часто используемый метод для маленьких реакторов. Можно использовать только хорошо обожженные кирпичи, бетонные блоки или каменные кирпичи хорошего качества.

Для обеспечения герметичности реактора применяются цементное покрытие с добавками, асфальт с алюминиевой фольгой, парафин и другие материалы.

Месторасположения установки зависит от нескольких факторов — наличия свободных площадей, отдаленности от жилых помещений, места складирования отходов, расположения мест содержания животных, глубины залегания грунтовых вод, удобства загрузки и выгрузки сырья и т.д. Реактор может быть размещен над поверхностью земли, заглублен в землю или установлен внутри помещения. По возможности рекомендуется подземное размещение, так как оно позволяет уменьшить капиталовложения и исключает использование дополнительного оборудования для загрузки сырья, значительно улучшает качество терморегулирования, а также дает возможность

использовать дешевые теплоизоляционные материалы — глину и солому.

Отсутствие теплоизоляции позволяет установке работать только на протяжении теплого времени года. Термоизоляционные материалы должны иметь хорошие изолирующие свойства, быть дешевыми и доступными.

Системы загрузки и выгрузки сырья. Работа БГУ в режиме непрерывной загрузки, оптимальная с точки зрения получения наибольшего количества биогаза и биоудобрений, а также стабильности работы установки, предполагает ежедневную загрузку сырья и выгрузку сброженной массы.

Свежий навоз обычно собирается в емкость для подачи сырья, откуда загружается в реактор. Емкость используется для достижения нужной однородности и влажности сырья. В зависимости от типа установки размер емкости должен равняться суточному или двойному суточному объему сырья. Нужно строить емкость так, чтобы сырье стекало туда под действием гравитации. Загрузочное и выгрузочное отверстия оборудуются гидравлическими затворами, препятствующими проникновению воздуха в реактор. Расположение емкости на солнечной стороне способствует предварительному подогреву сырья.

Ручная загрузка и выгрузка является наиболее простым способом подачи сырья в реактор и удаления биоудобрений. Насосы становятся необходимы, когда большое количество сырья требует быстрой загрузки и рельеф местности не позволяет производить загрузку самотеком.

Оптимальным способом подачи и перемешивания сырья является пневматический. Этот способ требует, чтобы корпус реактора выдерживал давление до 0,5 Мпа, 5 кгс/см², и трубопроводы диаметром не менее 100 мм с задвижкой. Сырье загружается в бункер и в реактор с помощью компрессора, который одновременно служит для откачки вырабатываемого биогаза.

Системы сбора биогаза. Система сбора биогаза состоит из распределительного газового трубопровода с запорной арматурой, сборника конденсата, предохранительного клапана, компрессора, ресивера, газгольдера и потребителей биогаза.

Биогаз содержит большое количество водяных паров, которые могут конденсировать на стенках трубопроводов и приводить к их закупорке. Желательно, чтобы конденсирующаяся влага могла стекать прямо в реактор. Если это невозможно, на низких участках системы должны быть установлены водяные затворы.

Газовая система соединяет биогазовую установку с газовыми приборами с помощью труб. Эта система должна быть безопасной, экономичной и предоставлять необходимое количество газа для каждого прибора. Наиболее часто используются трубы из стали или пластиковые трубы. Очень важно, чтобы газовая система была газонепроницаемой и служила на протяжении всего эксплуатационного периода биогазовой установки. Газопровод также должен быть оснащен предохранительно-сбросным клапаном и необходимой запорной арматурой.

Оптимальный способ накопления биогаза зависит от того, для каких целей будет использован биогаз. Если предусмотрено прямое сжигание, то большие газгольдеры не нужны. В таких случаях газгольдеры используются для выравнивания неравномерности газовыделения и улучшения условий последующего горения. Чаще всего используются пластиковые или стальные газгольдеры.

Размер газгольдера должен быть рассчитан для того, чтобы вмещать суточный объем вырабатываемого биогаза. В зависимости от типа газгольдера и выдерживаемого им давления объем газгольдера составляет от 1/5 до 1/3 от объема реактора.

Пластиковые газгольдеры используются в совмещенных установках. Еще одним вариантом является отдельный пластиковый газгольдер. Стальные газгольдеры можно разделить на два вида: газгольдеры низкого давления, сухие и мокрые ($0,01-0,05 \text{ кг/см}^2$) и газгольдеры среднего ($8-10 \text{ кг/см}^2$) и высокого (200 кг/см^2) давления.

Системы перемешивания.

Перемешивание сырья в реакторе повышает эффективность работы БГУ и обеспечивает: высвобождение образующегося биогаза; перемешивание свежего субстрата и популяции бактерий; предотвращение формирования корки и осадка; предотвращение появления участков разной температуры внутри реактора;

равномерное распределение популяции бактерий; предотвращение формирования пустот и скоплений, уменьшающих рабочую площадь реактора. Перемешивание позволяет увеличить скорость образования метана и сократить время пребывания сырья в реакторе.

Перемешивание сырья может осуществляться механическими мешалками, биогазом, пропускаемым через толщу сырья, и перекачиванием сырья из верхней зоны реактора в нижнюю.

Рабочими органами механических мешалок являются шнеки, лопасти, планки. Приводиться в действие они могут вручную или от двигателя. Механические мешалки с ручным приводом наиболее просты в изготовлении и эксплуатации.

Перемешивание может быть постоянным или периодическим в зависимости от режима работы реактора. Оптимальный режим перемешивания значительно уменьшает время сбраживания сырья и предотвращает образование корки. Перемешивание должно производиться регулярно. Слишком редкое перемешивание сырья приведет к расслоению сырьевой массы и образованию корки. Слишком частое перемешивание может навредить ферментационным процессам внутри реактора. Хорошо перемешиваемое сырье может дать на 50 % больше биогаза. Идеальным является осторожное, но интенсивное перемешивание каждые 4-6 ч.

Системы подогрева сырья. Отсутствие системы подогрева позволит получать меньшее количество биогаза и биоудобрения. Для обеспечения высокого производства, а также лучшего обеззараживания сырья используются два метода подогрева: прямой подогрев в форме пара или смешивающейся с сырьем горячей воды и не прямой подогрев через теплообменник.

При прямом подогреве паром установка нуждается в парогенерирующей системе, включающей очистку воды. Такая система имеет высокую стоимость. Добавление горячей воды повышает влажность субстрата и должно использоваться только там, где это необходимо.

Непрямой подогрев осуществляется теплообменниками, расположенными внутри или снаружи реактора. Внутренний подогрев является хорошим решением, если теплообменник достаточно прочен, чтобы не сломаться при движении сырья в реакторе.

Внешний подогрев менее эффективен из-за потерь тепла.

Наиболее распространенной системой подогрева сырья является система с водонагревательным котлом, работающим на биогазе, электричестве или твердом топливе. В качестве нагревательных элементов применяют теплообменники, где теплоносителем служит горячая вода с температурой около 60 °С. Более высокая температура повышает риск налипания взвешенных частиц на поверхности теплообменника.

Теплообменники рекомендуются располагать в зоне действия перемешивающего устройства, что помогает избежать осаждения твердых частиц на их поверхности.

Выводы из исследования и перспективы, дальнейшее развитие в данном направлении. Биогаз является перспективным возобновляемым энергоресурсом. Для его получения может использоваться большое разнообразие органического сырья. Производство биогаза комплексно решает проблему утилизации органических отходов – генерируется высококачественный энергоресурс, улучшается экология, вырабатывается удобрение. Особенно

актуально использование биогазовых технологий в сельскохозяйственном производстве. Большинство индивидуальных фермерских хозяйств имеют возможность построить биореакторы и тем самым обеспечить себя, хотя бы частично, энергоресурсами собственной генерации. При проектировании и строительстве биогазовых установок критически важно соблюдать рекомендации, выработанные на основе имеющегося практического опыта. Весьма важно адаптировать проект к конкретным условиям (состав сырья, его количество, режимы и виды потребления энергии, имеющееся и доступное оборудование и пр.). Качественное выполнение проекта позволяет на 40-60 % повысить выход биогаза, интенсифицировать процесс его генерации, обеспечить безостановочную и безаварийную работу биореактора. Эти факторы определяют важность и необходимость соблюдения выработанных практикой рекомендаций, а также ставят задачу все более полного изучения процессов генерации биогаза и методов повышения их эффективности поскольку биогаз – это один из путей к экологичной возобновляемой энергетике.

Список использованных источников

1. Баадер, В. Биогаз. Теория и практика [Текст] / В. Баадер, Е. Доне, М. Бренндерфер. – М.: Колос, 1982. – 148 с.
2. Технологическое оборудование для получения биогаза [Текст]: Руководство по биогазу. От получения до использования / Дж. Постел, У. Юнг, Эл. Фишер [и др.]. – Гюльцов-Прюцен, 2010. – С. 32 - 76.
3. Эдер, Б. Биогазовые установки [Текст]: практ. пособие / Б. Эдер, Х. Шульц. – 1996. – 268 с.
4. Биогаз на основе возобновляемого сырья [Текст] / под ред. Б. Геммеке, К. Ригер, П. Вайланд. – Брауншвайг, 2010. – 118 с.
5. Биоэнергия. Общая информация [Текст] / Агентство по возобновляемым ресурсам. – Гюльцов-Прюцен, 2012. – 15 с.
6. Руководство по биогазу. От получения до использования [Текст] / Агентство по возобновляемым ресурсам. – Гюльцов-Прюцен, 2010. – 215 с.
7. Bauer, C.; Korthals, M.; Gronauer, A.; Lebuhn, M.:Methanogens in biogas production from renewable resources– a novel molecular population analysis approach.Water Sci. Tech. 2008, 58, No. 7, S. 1433–1439.
8. Lebuhn, M.; Bauer, C.; Gronauer, A.: Probleme der Biogas produktionausnachwachsenden Rohstoffenim Langzeitbetrieb und molecular biologische Analytik. VDLUFA-Schriftenreihe 64, 2008, S. 118–125.
9. Биогаз для чайников [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.biogas.vn.ua>. – Заголовок с экрана.

10. Фрих, Ю. Основы анаэробной ферментации [Текст]: руководство по биогазу. От получения до использования / Ю. Фрих, П. Вейланд, А. Шаттауэр. – Гюльцов-Прюцен, 2010. – С. 20 - 31.

Рецензент д-р техн. наук, професор А.П. Фалендиш

Ткаченко Євген Олександрович, магістрант кафедри теплотехніки та теплових двигунів, Український державний університет залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-78.

Угольников Сергій Вікторович, канд. техн. наук, доцент кафедри теплотехніки та теплових двигунів, Український державний університет залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-78, E-mail: Ugolnikov-FO@rambler.ru.

Tkachenko Evgeniy, master student of the department of Thermal Engineering and Heat Engines, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-78.

Ugolnikov Sergey, Ph.D., lecturer of the department of Thermal Engineering and Heat Engines, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-78, E-mail: Ugolnikov-FO@rambler.ru.

Наукова праця здана до друку 29.09.2015 р.